



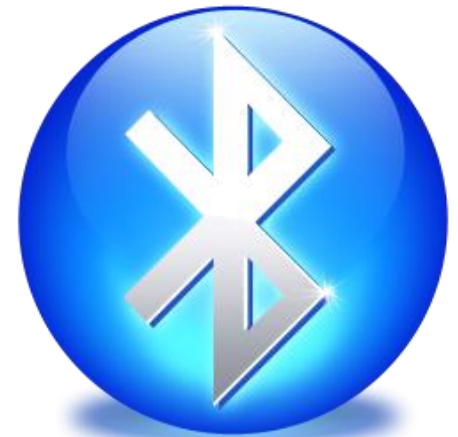
CORSO DI TECNOLOGIE D'ACCESSO

BLUETOOTH BT – LOW ENERGY

Cos'è Bluetooth?



- ✓ Bluetooth è un sistema di comunicazione radio a corto raggio a basso costo e bassa potenza
- ✓ Il nome deriva dal re Harald “Blaatand” Gormsson di Danimarca che visse nel decimo secolo dopo Cristo mentre il logo (presente in tutti i dispositivi) deriva dalle lettere runiche delle sue iniziali



BLUETOOTH SIG (Special Interest Group)



- ✓ Bluetooth inizialmente è stato sviluppato dal costruttore di telefoni cellulari Ericsson nel 1994 per consentire ai computer portatili di utilizzare un dispositivo mobile per eseguire chiamate
- ✓ Successivamente, nel febbraio del 1998, è stato fondato il SIG (Special Interest Group) che inizialmente comprendeva cinque compagnie: Ericsson, Intel, Toshiba, Nokia e IBM
- ✓ Tutte le specifiche e gli standard relativi al Bluetooth sono state sviluppate dai membri del SIG
- ✓ Oggi SIG riunisce più di 2500 compagnie
- ✓ Le compagnie che fanno parte del SIG possono essere di tre tipi:
 - **Promoter member** (Aziende che hanno dato vita al SIG)
 - **Associate member** (Gold Associate, Silver Associate)
 - **Adapter member**

✓ Promoter member:

- Altamente impegnato nello sviluppo strategico e tecnico della tecnologia Bluetooth

✓ Associated member:

- Può usare le pubblicazioni sulle specifiche e la tecnologia Bluetooth e utilizzare il marchio Bluetooth
- Possono partecipare (con **Promoter member** e/o altri **Associated Member**) allo sviluppo di specifiche per applicazioni Bluetooth
- Hanno la possibilità di revisionare delle specifiche prima che vengano pubblicate
- Pagano una quota annuale che dipende dalle entrate dell'azienda
- Ci sono due tipi di **Associated member**:
 - ❖ **Gold**: può partecipare a qualunque gruppo di lavoro
 - ❖ **Silver**: può partecipare solo ad un numero limitato di gruppi di lavoro

- ✓ Adopted member:
 - Può usare le pubblicazioni sulle specifiche e la tecnologia Bluetooth e utilizzare il marchio Bluetooth
 - Non ha la possibilità di influenzare o partecipare alla creazione di nuovi standard non ancora pubblicati
 - E' un accordo a costo zero
- ✓ Poiché per utilizzare la tecnologia Bluetooth sono necessari dei brevetti, se un'azienda volesse usufruire di questi ultimi dovrebbe associarsi al SIG almeno come Adopted member

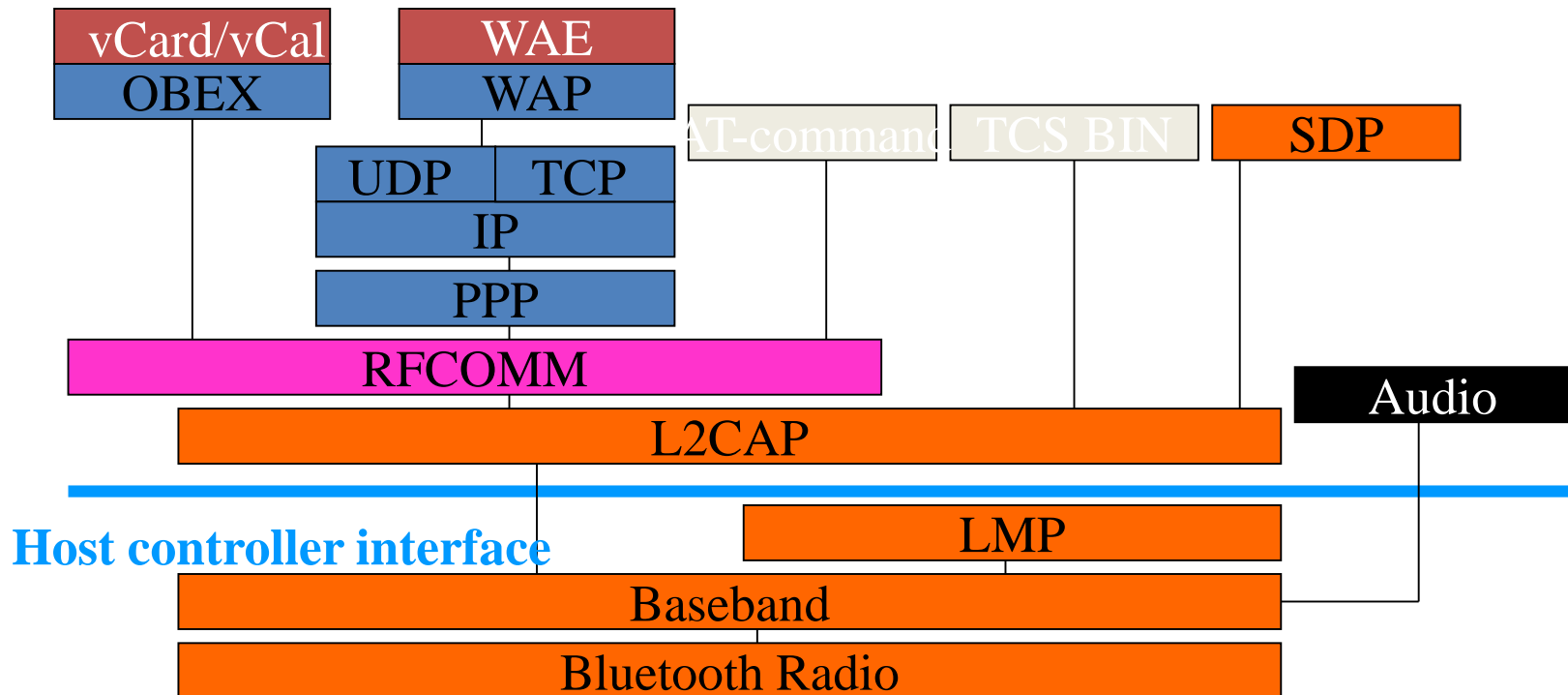


- ✓ Un prodotto basato sulla tecnologia Bluetooth prima di poter entrare nel mercato con il marchio Bluetooth deve essere sottoposto ad un programma di qualifica chiamato Bluetooth Qualification Program (BQP)
- ✓ Il BQP consiste in una serie di test e specifiche che garantiscono la totale compatibilità tra dispositivi prodotti da vendor diversi in paesi diversi
- ✓ Solo i prodotti che hanno completato il programma di qualificazione possono utilizzare il marchio Bluetooth

- ✓ Gli standard Bluetooth sono organizzati in 1500 pagine suddivise in due gruppi:
Specifiche di base e specifiche di profilo
- ✓ Le **specifiche di base** descrivono i dettagli dei vari livelli dell'architettura di protocolli Bluetooth -> sono trattati anche argomenti correlati come l'interoperabilità con altre tecnologie e requisiti di collaudo
- ✓ Le **specifiche di profilo** riguardano l'uso della tecnologia Bluetooth per supportare varie applicazioni e rientrano in due categorie:
 - **sostituzione di connessioni via cavo**
 - **connessioni audio wireless**
- ✓ Lo scopo di una **specifica di profilo** è quello di definire uno standard di interoperabilità in modo da garantire le possibilità di collaborazione fra prodotti sviluppati da produttori differenti sempre che questi supportino un determinato **modello d'uso**
- ✓ Un **modello d'uso** è un insieme di protocolli che implementa una determinata applicazione Bluetooth

- ✓ Bluetooth offre il supporto per tre aree di applicazione generali utilizzando una connettività wireless a breve raggio:
 - **Punti di accesso per dati e voce:** facilita le trasmissioni in tempo reale di dati e voce offrendo connessioni wireless realizzabili con la massima semplicità con dispositivi di comunicazione portatili e fissi
 - **Sostituzione dei cavi:** elimina la necessità di utilizzare connessioni via cavo (talvolta proprietarie) per la connessione di ogni dispositivo di comunicazione
 - **Reti ad hoc:** un dispositivo dotato di un sistema radio Bluetooth può attivare una connessione istantanea con un altro dispositivo Bluetooth non appena i due dispositivi rientrano l'uno nel raggio di azione dell'altro

- ✓ Bluetooth è un'architettura di protocolli a più livelli con **protocolli di base**, **protocolli di sostituzione di sistemi via cavo**, protocolli di controllo della telefonia e **protocolli adottati**



- ✓ I **protocolli base** formano uno stack a cinque livelli costituito dai seguenti elementi:
- **Radio**: specifica i dettagli dell'interfaccia radio, fra cui la frequenza, l'uso dei salti di frequenza, lo schema di modulazione e la potenza di trasmissione
 - **Banda base**: riguarda l'attivazione della connessione, l'indirizzamento, il formato dei pacchetti, la sincronizzazione in una piconet
 - **LMP (Link Manager Protocol)**: responsabile dell'attivazione e della gestione del collegamento in corso e include aspetti quali l'autenticazione e la crittografia nonché il controllo e la negoziazione delle dimensioni dei pacchetti in banda base
 - **L2CAP (Logical Link Control and Adaption Protocol)**: adatta i protocolli di livello superiore al livello in banda base
 - **SDP (Service Discovery Protocol)**: si occupa di cercare informazioni sui dispositivi, sui servizi e sulle caratteristiche dei servizi che possono essere interrogati per consentire l'attivazione fra due o più dispositivi Bluetooth

- ✓ **RFCOMM**: è il **protocollo di sostituzione dei sistemi via cavo**
- ✓ **TCS BIN (Telephony Control Specification-Binary)**: è il **protocollo di controllo della telefonia**
- ✓ **AT**: protocollo usato per il controllo di modem analogici
- ✓ Fra i protocolli **adottati** vi sono: **PPP, TCP/UDP/IP, OBEX, WAE/WAP**
- ✓ **Audio**: 64 kbps PCM (Pulse Code Modulation) format (A-law or μ -law)
64 kbps CVSD (Continuous Variable Slope Delta Modulation)

- ✓ Un profilo **Bluetooth** è un **set di specifiche** che riguardano un aspetto particolare della comunicazione wireless BT tra due o più dispositivi
- ✓ Per poter usare la tecnologia BT un dispositivo deve essere compatibile con un subset di profili BT necessari per accedere a vari servizi
- ✓ I profili BT vengono implementati nella parte superiore della pila e forniscono gli standard utilizzati dai produttori per permettere ai dispositivi di funzionare in una determinate specifica

- ✓ Esistono tre classi di trasmettitori sulla base della potenza di uscita:
 - **Classe 1**: Output 100 mW (+20 dBm) per la massima area di copertura con un minimo di 1 mW (0 dBm). Questa modalità fornisce la massima distanza di copertura
 - **Classe 2**: Output 2.4 mW (+4 dBm) come massimo e un minimo di 0.725mW (-1.4 dBm)
 - **Classe 3**: bassa potenza. Output nominale 1 mW
- ✓ L'unica classe per cui è obbligatorio il controllo di potenza è la **classe 1** mentre per le altre è opzionale

- ✓ Il controllo di potenza può effettivamente ridurre il consumo di potenza che è critico per molti dispositivi portatili
- ✓ Il controllo di potenza può anche minimizzare le interferenze con gli altri dispositivi
- ✓ Il controllo di potenza è effettuato dal livello **Link Manager Protocol (LMP)**
- ✓ L'algoritmo di controllo della potenza viene implementato utilizzando un protocollo di gestione del collegamento fra il master e lo slave di una piconet

- ✓ Bluetooth utilizza la banda ISM (Industrial, Scientific, Medical) a 2.4 GHz disponibile in tutto il mondo per l'utilizzo senza licenza a bassa potenza
- ✓ In molti paesi l'ampiezza di banda è sufficiente per definire 79 canali fisici da 1 MHz ciascuno ma per alcuni con differente allocazione di banda il numero di canali si riduce a 23
- ✓ Il problema è che i dispositivi a 23 o 79 canali non possono comunicare tra loro e per questo il SIG ha fatto pressione affinché i paesi con differente divisione di banda si adeguassero per consentire 79 canali da 1 MHz
- ✓ Per le versioni successive si utilizzano anche canali da 5 MHz per aumentare la capacità di trasmissione

Allocazione della banda per Bluetooth (2003)

Regione	Intervallo regolamentato	Canali in radiofrequenza
Stati Uniti, Europa	Da 2.4 a 2.4835 GHz	$f=2.402+n$ MHz $n=0,1,\dots,78$
Giappone	Da 2.471 a 2.497 GHz	$f=2.473+n$ MHz $n=0,1,\dots,22$
Spagna	Da 2.445 a 2.475 GHz	$f=2.449+n$ MHz $n=0,1,\dots,22$
Francia	Da 2.4465 a 2.4835 GHz	$f=2.454+n$ MHz $n=0,1,\dots,22$

- ✓ Lo standard Bluetooth prevede l'utilizzo di una modulazione digitale GMSK, utilizzata anche dal GSM
- ✓ La modulazione GMSK non è altro che una modulazione MSK (Minimum Shift Keying) con un filtro Gaussiano in ingresso
- ✓ L'MSK a sua volta è una particolare modulazione FSK



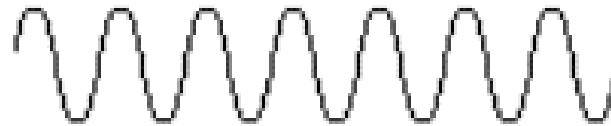
- ✓ La modulazione FSK consiste nell'associare una frequenza f_1 al simbolo "0" ed una frequenza f_2 al simbolo "1" utilizzando un oscillatore controllato in tensione VCO (voltage control oscillator)
- ✓ Il segnale modulante è formato dai dati binari i quali controllano la frequenza d'oscillazione f_0
- ✓ Quando il segnale modulante assume il valore di una tensione positiva (+1) è associato il simbolo "1" e la frequenza del VCO è incrementata al valore f_2 , mentre quando la tensione è negativa (-1) è associato il simbolo "0" e la frequenza dell'oscillatore è deviata a frequenza minore f_1
- ✓ Si chiama indice di modulazione m il rapporto tra la deviazione di frequenza ($f_2 - f_1$) e la velocità di cifra dei dati (R_b)

1 0 1 1 0 1 0

DATI NUMERICI



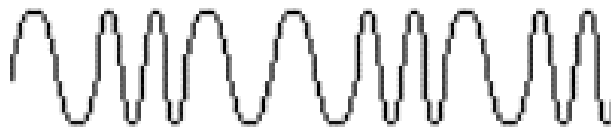
SEGNALE MODULANTE



PORTANTE n.1

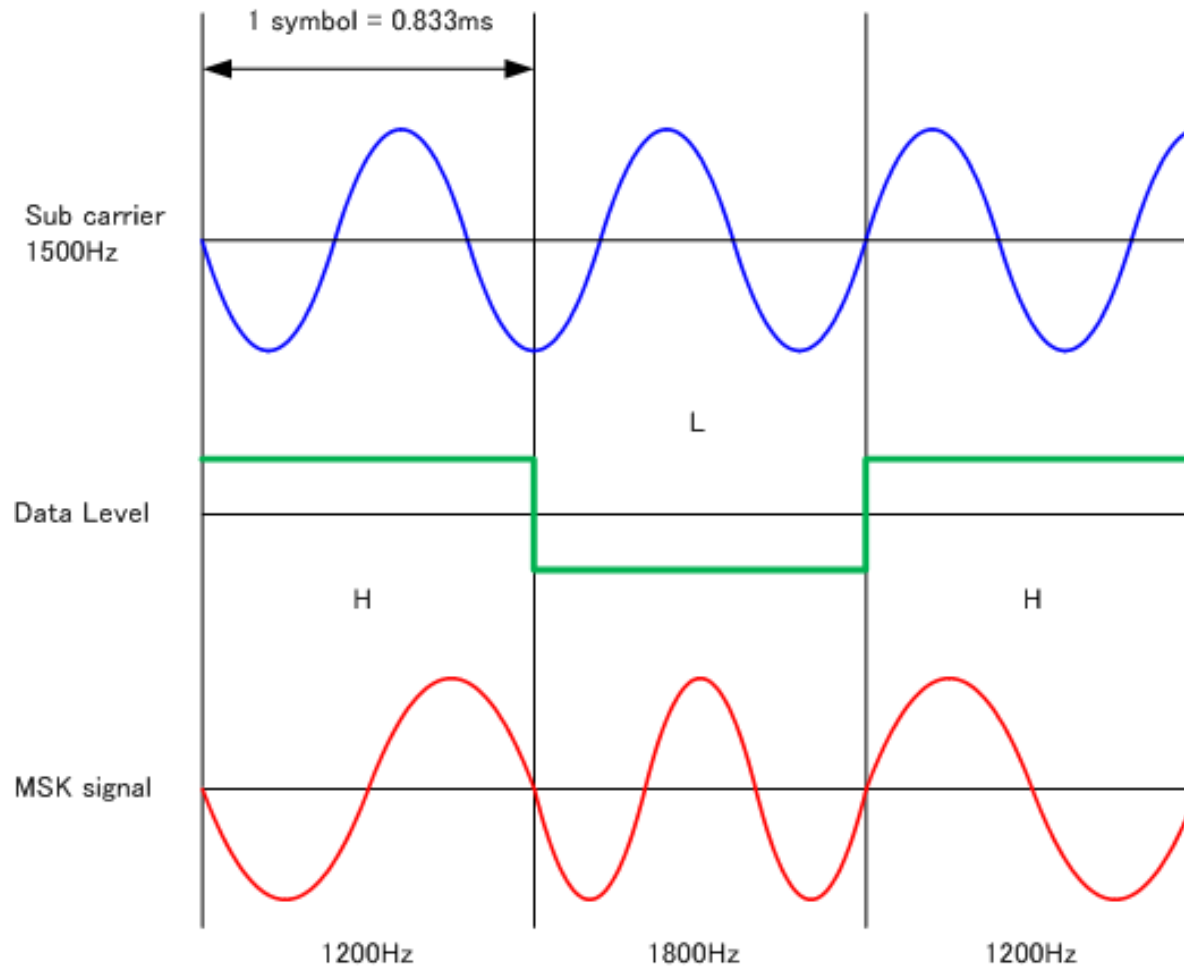


PORTANTE n.2

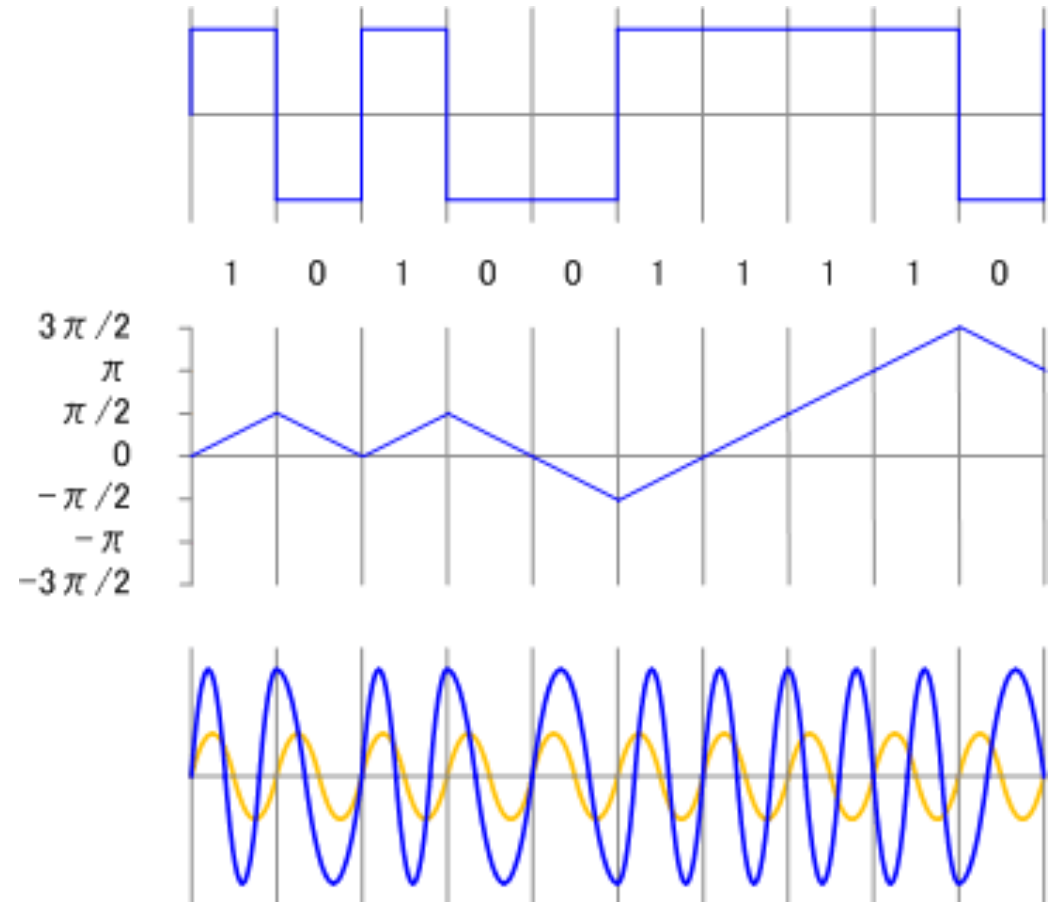
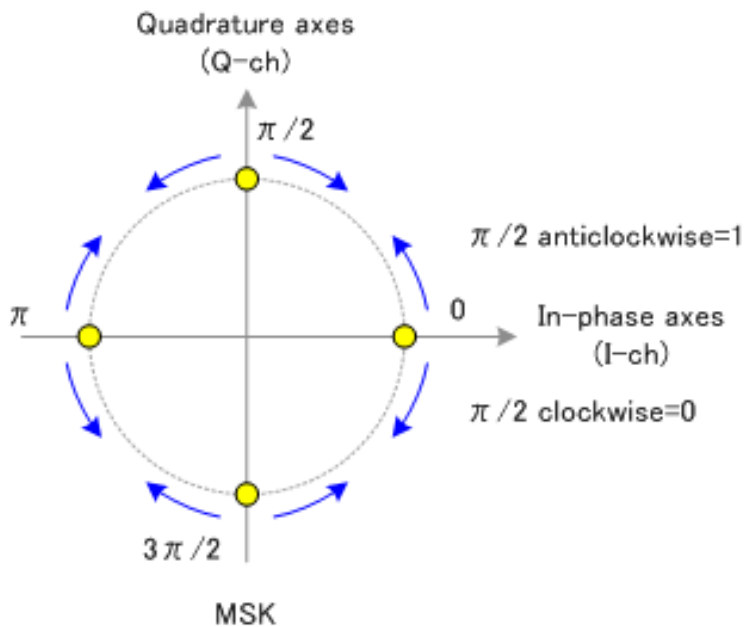


SEGNALE MODULATO FSK

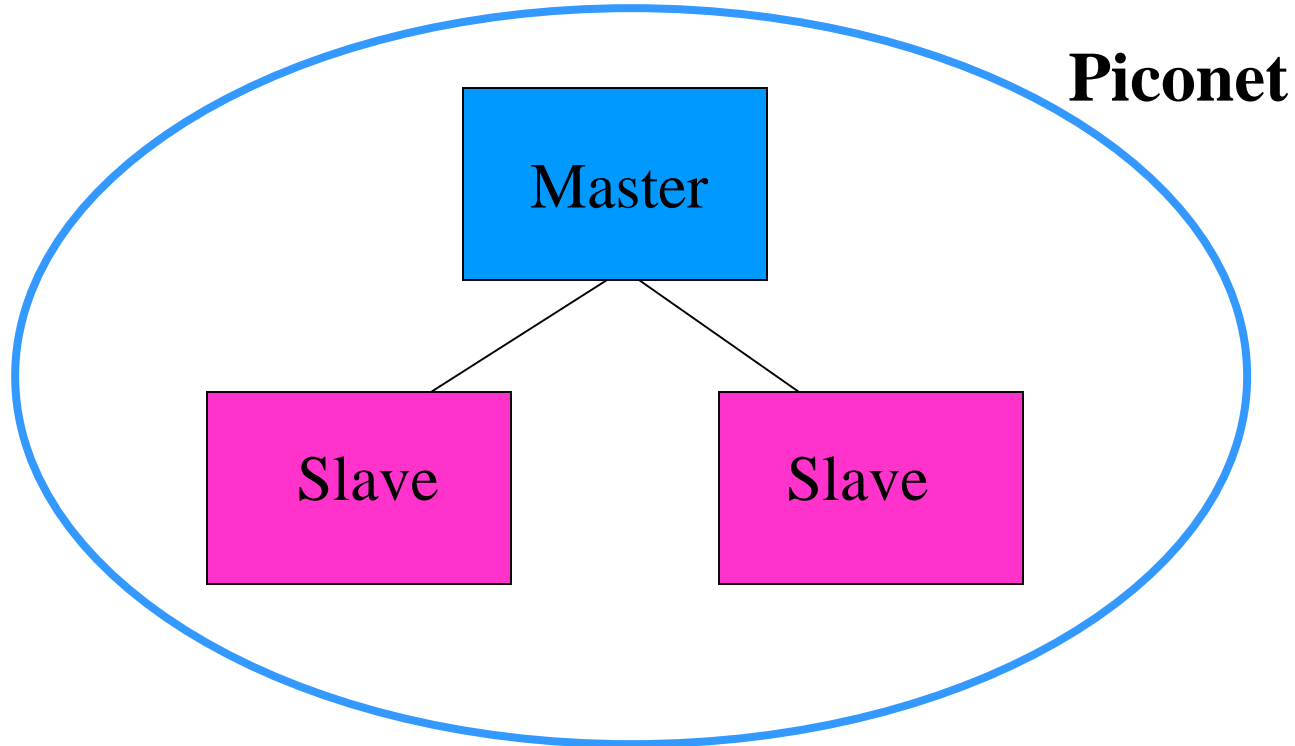
- ✓ La modulazione FSK presenta uno spettro abbastanza esteso ed è funzione dell'indice di modulazione
- ✓ Durante la transizione tra il simbolo 0 ed 1 e viceversa vi sono dei salti di fase variabile i quali introducono alcune discontinuità nel segnale e provocano un ulteriore allargamento dello spettro
- ✓ Per ovviare a questo problema occorre fare in modo che dopo un tempo di bit si abbia uno sfasamento pari esattamente a 180° tra le frequenze f_1 e f_2 così da garantire la continuità di fase nelle transizioni da un simbolo al successivo
- ✓ La modulazione che soddisfa questo requisito prende il nome di MSK (Minimum Shift Keying)



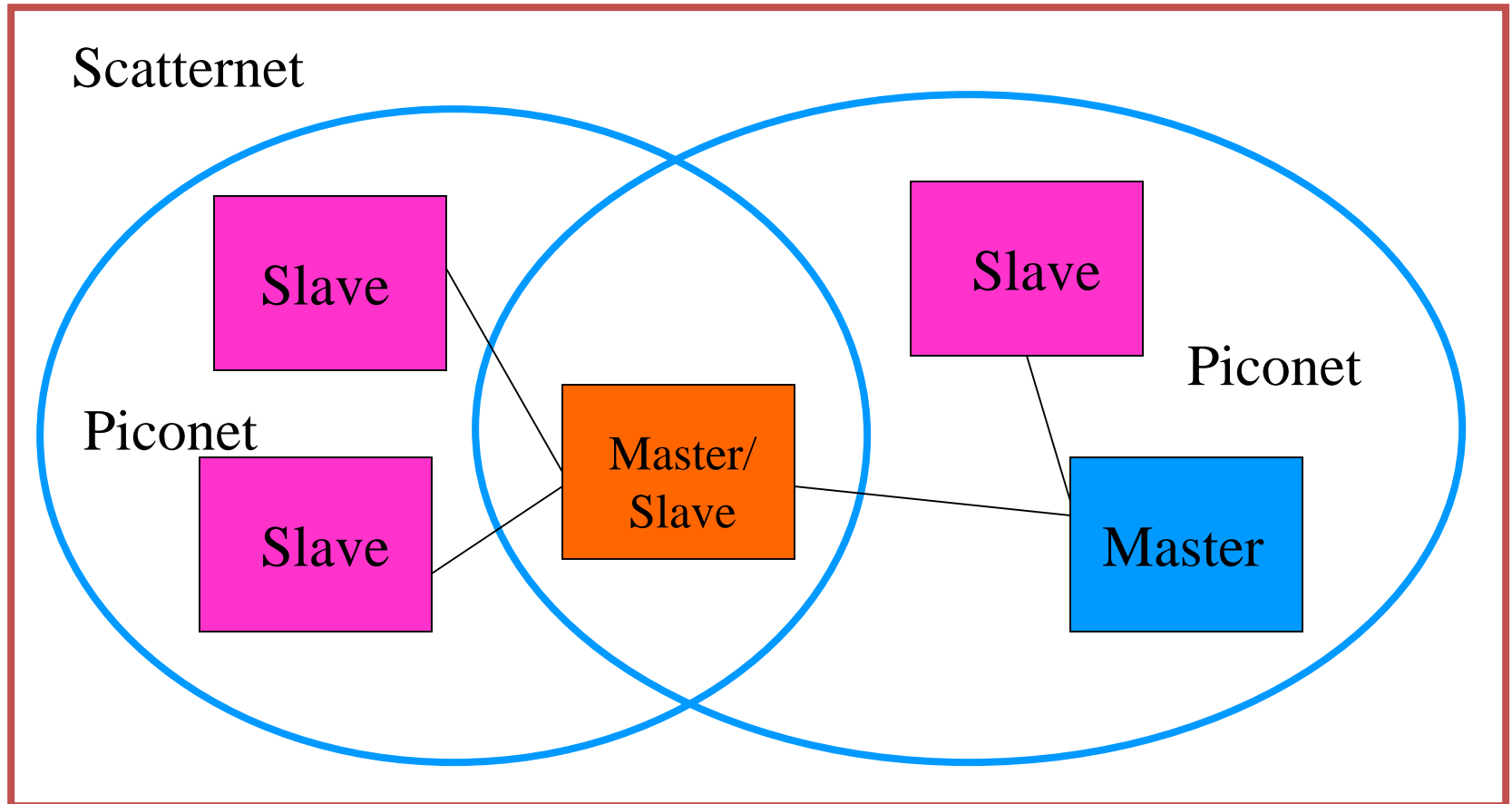
- ✓ La modulazione MSK ha purtroppo uno spettro con componenti fuori banda (lobi laterali) non trascurabili
- ✓ Nei sistemi radiomobili questo causa problemi d'interferenza di canale adiacente qualora si voglia evitare l'utilizzo di filtri popola modulazione
- ✓ Per ovviare a questo inconveniente viene inserito un filtro passa basso con andamento ampiezza/frequenza di tipo gaussiano ed è inserito prima del modulatore MSK
- ✓ La modulazione che si ottiene è denominata GMSK



- ✓ Bluetooth è stato progettato per operare in ambiente multiutente
- ✓ L'elemento di base delle reti Bluetooth è la piconet costituita da un **master** e un certo numero di dispositivi (da 1 a 7) **slave** attivi
- ✓ L'apparecchio radio designato come master determina il canale (ovvero la sequenza di salto della frequenza) e la fase (offset di sincronizzazione, ovvero quando trasmettere) che dovranno essere utilizzati dai dispositivi della piconet
- ✓ Il master prende tali decisioni in base al proprio indirizzo Bluetooth BDADDR (Bluetooth Device ADDRESS)
- ✓ Uno slave può comunicare solo con un master e può comunicare solo quando il master glielo consente



- ✓ Un dispositivo in una piconet può anche far parte di un'altra piconet e può funzionare come slave o master di entrambe le piconet
- ✓ Questa forma di sovrapposizione è detta **scatternet**
- ✓ Il vantaggio dello schema piconet/scatternet è il consentire a più dispositivi di condividere la stessa area fisica e utilizzare in modo efficiente l'ampiezza di banda disponibile
- ✓ All'aumentare del numero di piconet dell'area considerata si ridurranno le prestazioni poiché aumenteranno le collisioni tra le trasmissioni delle diverse piconet



- ✓ Bluetooth utilizza uno schema a salto di frequenza con una spaziatura delle portanti di 1 MHz
- ✓ In genere vengono utilizzate fino a 79 frequenze differenti per un'ampiezza totale di banda di 79 MHz
- ✓ Con il salto di frequenza si definisce un canale logico (**canale FH, Frequency Hopping**) sulla base della sequenza di salto del canale
- ✓ In un determinato momento l'ampiezza di banda disponibile è di 1 MHz condiviso da un massimo di otto dispositivi

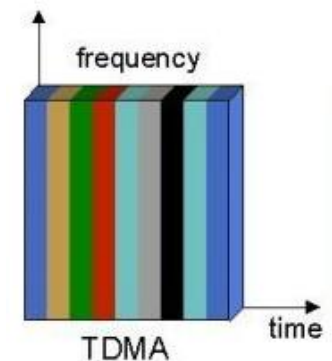
- ✓ Canali logici differenti (sequenze logiche differenti) possono condividere simultaneamente la stessa ampiezza di banda di 79 MHz
- ✓ Si verificheranno delle collisioni solo quando i dispositivi di piconet differenti su canali logici differenti si troveranno a utilizzare contemporaneamente la stessa frequenza
- ✓ La rete scatternet condivide l'area fisica e l'ampiezza di banda totale
- ✓ Il canale logico e il trasferimento di dati vengono condivisi dalla piconet

- ✓ La tecnologia Bluetooth prevede l'uso di tecniche d'accesso a salto di frequenza (**FH-Frequency Hopping**)
- ✓ Il **FH** ha due scopi:
 - garantire la resistenza alle interferenze e agli effetti multipath
 - fornire una forma di accesso multiplo per dispositivi collocati in piconet differenti
- ✓ Il salto di frequenza si verifica effettuando un salto da un canale fisico ad un altro in base ad una sequenza pseudocasuale (basata sull'indirizzo Bluetooth del master)
- ✓ La stessa sequenza di salto è condivisa da tutti i dispositivi della piconet
- ✓ La frequenza è di 1600 salti al secondo, quindi ciascun canale fisico è occupato per 0.625 ms

- ✓ Ogni periodo temporale di 0.625 msec è detto slot ed ognuno di essi è numerato in modo sequenziale
- ✓ I dispositivi Bluetooth comunicano utilizzando la tecnica duplex TDD (Time Division Duplex) con la quale i dati vengono trasmessi in una direzione per volta alternando le due direzioni

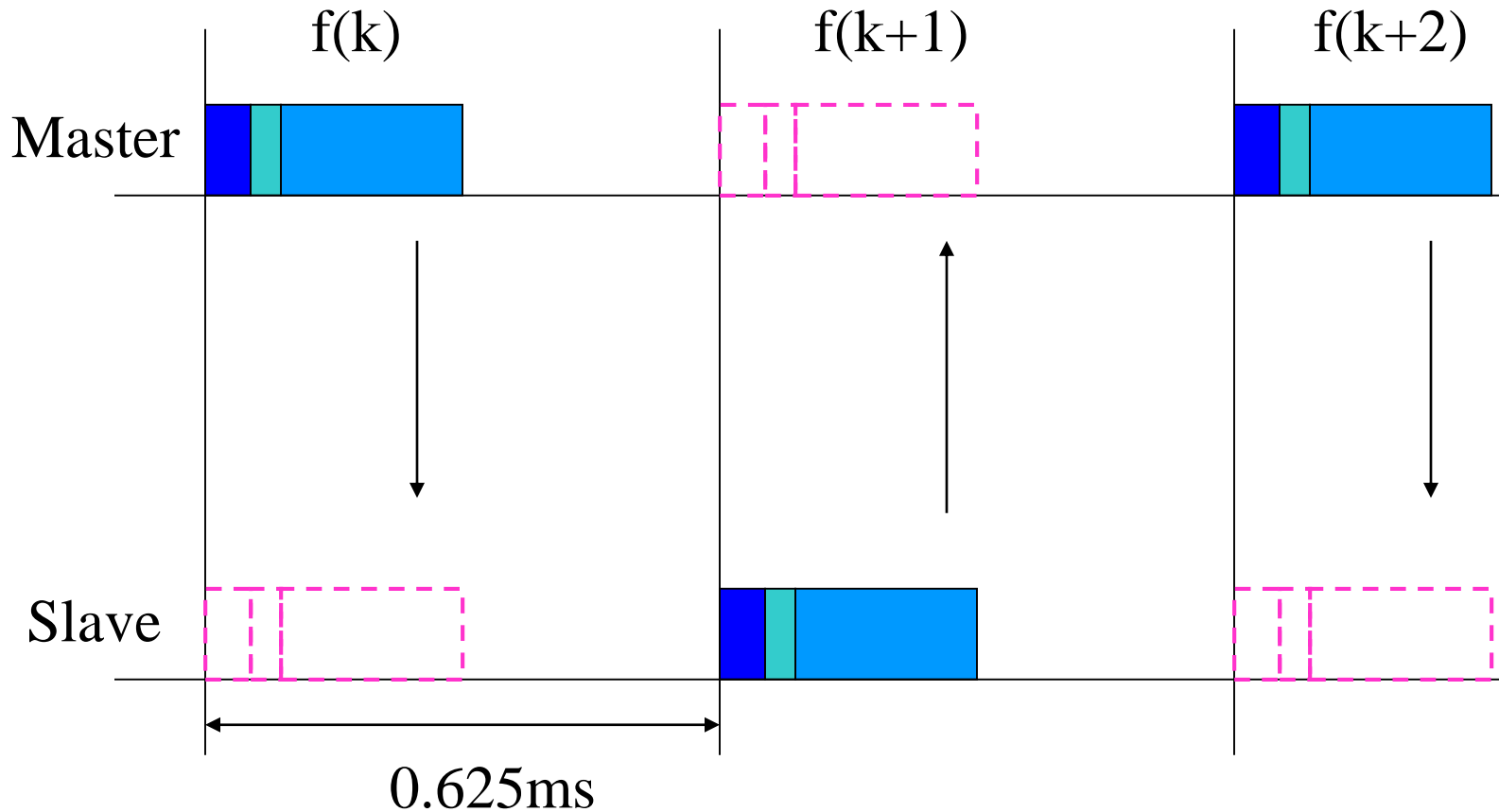


- ✓ Poiché il mezzo trasmissivo della piconet è condiviso da più di due dispositivi si impiega la tecnica di accesso TDMA

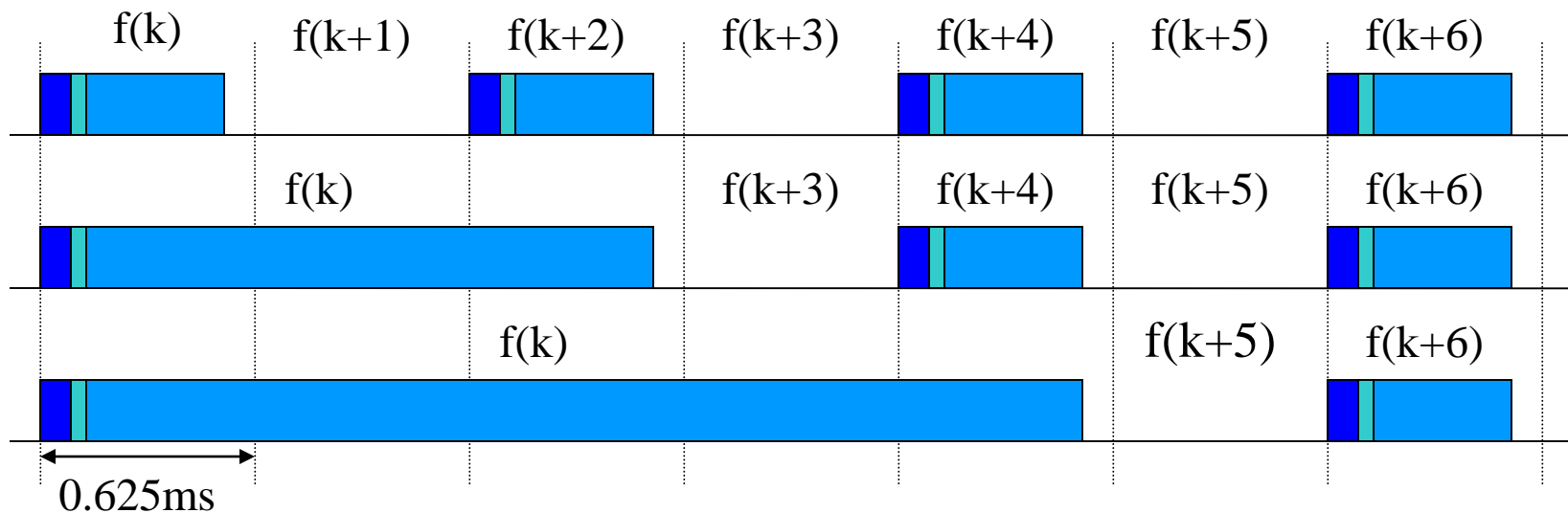


- ✓ L'accesso alla piconet può essere caratterizzato come FH-TDD-TDMA

✓ La sequenza di salto TDD è la seguente:



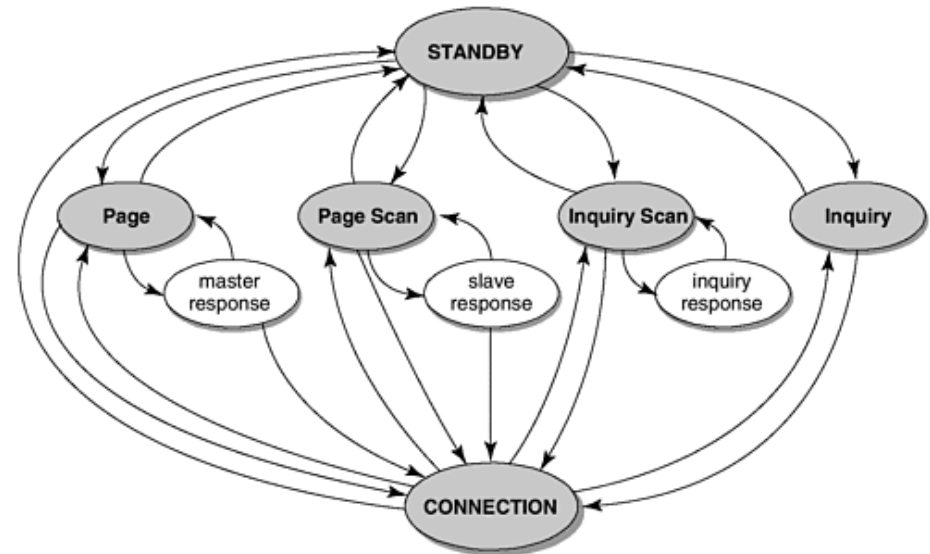
- ✓ Sono consentiti pacchetti tali da riempire 1, 3 o 5 slot
- ✓ Per i pacchetti multislot la trasmissione radio rimane alla stessa frequenza finché non è stato inviato l'intero pacchetto
- ✓ Nello slot successivo dopo il pacchetto multislot, la trasmissione radio ritorna alla frequenza richiesta dalla sequenza di salto



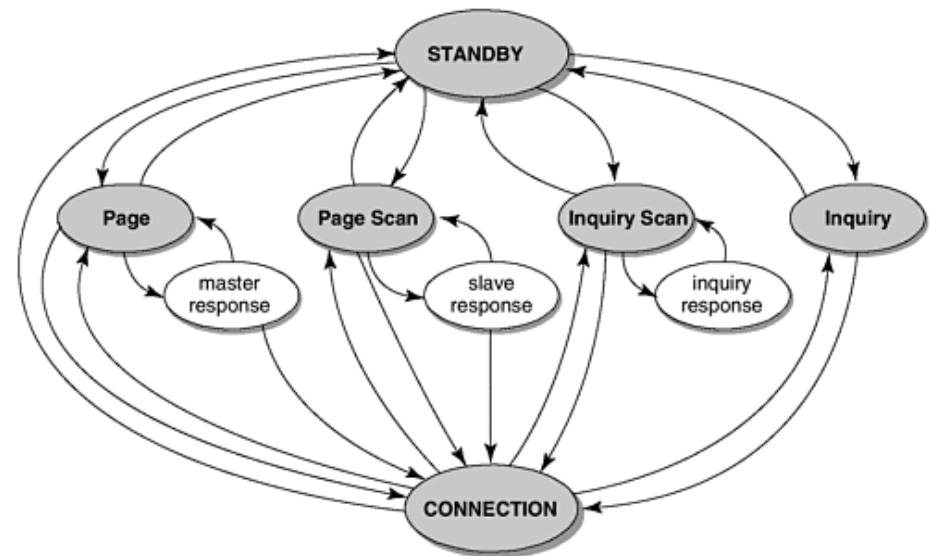
- ✓ Poiché piconet differenti nella stessa area avranno master differenti utilizzeranno sequenze di salto differenti
- ✓ Nella maggior parte dei casi le trasmissioni su due dispositivi posti su due piconet differenti nella stessa area si troveranno su canali fisici differenti
- ✓ Talvolta due piconet si troveranno ad usare lo stesso time slot comportando una collisione e la perdita dei dati
- ✓ Tale problema (che avviene raramente) può essere risolto con tecniche di correzione d'errore a rilevamento e ritrasmissione

- ✓ Fra un master e uno slave possono essere stabiliti due tipi di collegamenti:
 - **ACL (Asynchronous Connectionless)**: normale tipo di collegamento radio per pacchetti di dati generali utilizzando un sistema di polling TDMA per decidere l'accesso. ACL può trasportare pacchetti di diversi tipi
 - **SCO (Synchronous Connection Oriented)**: tipo di collegamento radio utilizzato per i dati vocali. Un collegamento SCO è un insieme di time-slots riservati su un trasporto ACL esistente. Ogni dispositivo trasmette i dati vocali codificati nel time-slot riservato. Non ci sono ritrasmissioni ma può essere applicata facoltativamente la forward error correction (FEC)

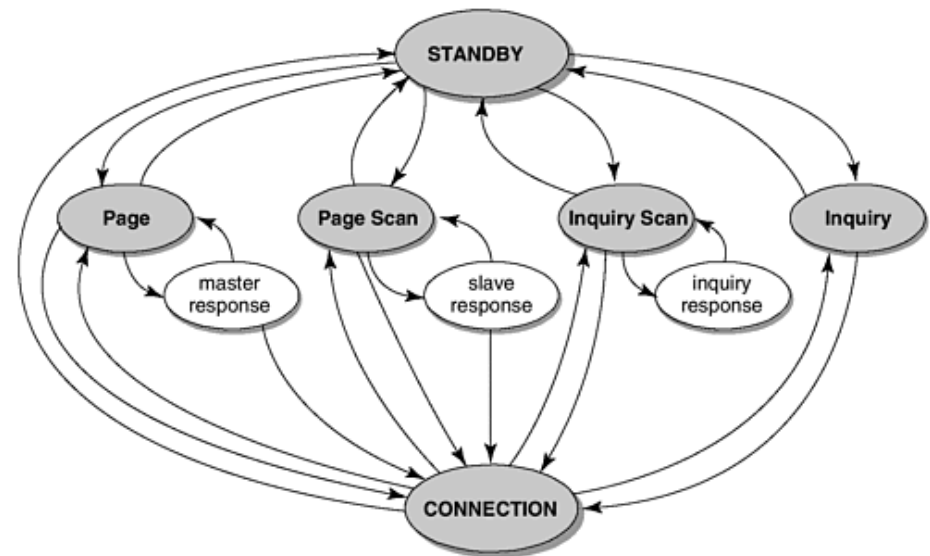
- ✓ 3 stati principali:
 - STANDBY
 - CONNECTION
 - PARK
- ✓ Standby: è lo stato in cui si trovano master e slave quando non ci sono dati da trasmettere
- ✓ Connection: è lo stato in cui lo slave si sincronizza sulla sequenza di hop del master per iniziare lo scambio dati
- ✓ Park: uno slave esce dalla piconet e mantiene solo la sincronizzazione con la sequenza di hopping



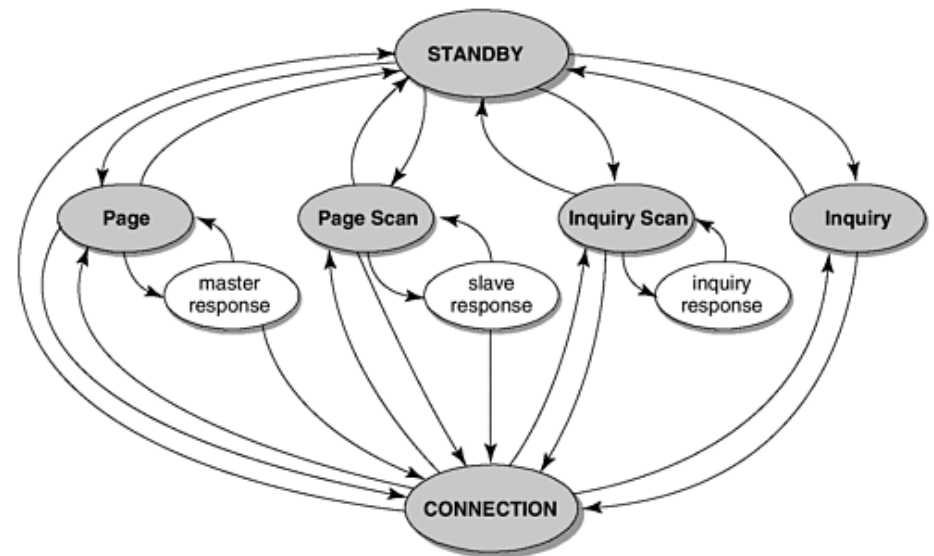
- ✓ **Page:** utilizzato dal master per attivare uno slave e connettersi ad esso. Il master manda messaggi di tipo paging che contengono il codice di accesso (Device Access Code – DAC) dello slave su vari canali hop
- ✓ **Page Scan:** un dispositivo slave è in ascolto per il suo DAC per la durata di una finestra scan. Lo slave ascolta su un'unica frequenza hop (derivata dalla page hopping sequence)



- ✓ **Slave response:** il dispositivo slave risponde al master dopo un page scan del master ed entra in connessione dopo aver ricevuto la sequenza di salto FHS
- ✓ **Master Response:** dopo il page scan il master aspetta la risposta di un slave. Una volta arrivata, il master manda il pacchetto FHS e se arriva la risposta da parte dello slave, il master entra in connessione



- ✓ **Inquiry:** stato che viene utilizzato da un dispositivo per identificare i dispositivi BT in prossimità. Il dispositivo crea una lista con gli indirizzi dei dispositivi e il loro clock
- ✓ **Inquiry Scan:** stato nel quale i dispositivi BT rimangono in ascolto per inquiry (indagine) da parte di altri dispositivi



- ✓ 5 tipi di sequenze di hopping (HS)
 - Page HS: 32 frequenze di “wake-up” spalmate in modo uniforme nella banda totale (79 MHz)
 - Page Response HS: 32 frequenze di risposta mappate 1 a 1 alle antecedente frequenze
 - Inquiry HS
 - Inquiry Response HS
 - Basic Channel HS: utilizzata per la comunicazione effettiva

- ✓ Un moderno sistema di telecomunicazioni deve essere dotato di meccanismi di protezione dei dati a qualunque livello esso operi
- ✓ Tale esigenza è resa ancora più stringente nel caso di Bluetooth dalla sua natura di interfaccia wireless
- ✓ Un sistema di comunicazione senza fili è più sensibile agli attacchi di un sistema cablato
- ✓ Il raggio di 10 metri che costituisce il contesto di maggiore utilizzo di Bluetooth può limitare in certa misura il rischio di interferenze e di intercettazioni non desiderate ma tale considerazione non assicura alcuna garanzia assoluta
- ✓ Utilizzando come tecnica d'accesso il frequency hopping Bluetooth aumenta la sicurezza perché solo le unità interessate alla comunicazione conoscono la sequenza corretta di salti di frequenza

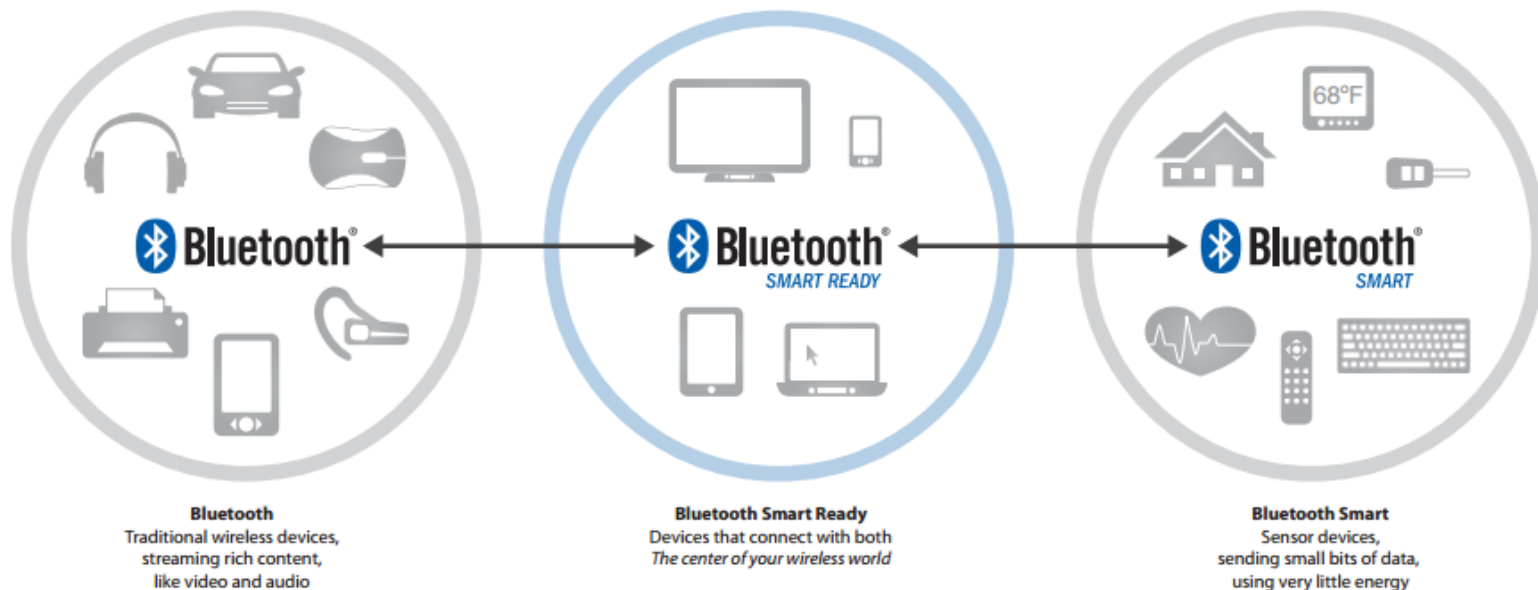
- ✓ Comunque risulta necessario lavorare sulla sicurezza anche agli altri livelli
- ✓ Per fare ciò Bluetooth prevede l'utilizzo di indirizzi pubblici nonché chiavi di autenticazione e cifratura
- ✓ Lo standard Bluetooth prevede tre livelli di sicurezza:
 - 1) Nessuna procedura di autenticazione e cifratura instaurando così una comunicazione priva di protezione a livello di collegamento logico
 - 2) I meccanismi di autenticazione e cifratura vengono attivati solo dopo che è stato stabilito un collegamento a livello L2CAP
 - 3) Assicura il grado maggiore di protezione utilizzando tali procedure su tutti i livelli logici
- ✓ La sicurezza nella comunicazione è ottenuta attraverso meccanismi di autenticazione e scambio di chiavi simmetriche utilizzate per un criptaggio più veloce

- ✓ Ogni dispositivo Bluetooth è dotato di un indirizzo pubblico di 48 bit chiamato **BDADDR (Bluetooth Device ADDRESS)** che lo caratterizza completamente
- ✓ Unico parametro che rimane invariato a prescindere dalla transazione o dall'applicazione che utilizza il dispositivo
- ✓ La **chiave d'autenticazione** è una stringa di 128 bit utilizzata per verificare l'identità del modulo con il quale si è connessi e quindi la corretta provenienza dei dati in ricezione
- ✓ Una volta stabilita una **chiave d'autenticazione** sono le applicazioni a decidere se e quando essa deve essere variata
- ✓ La **chiave di cifratura** può variare dagli 8 ai 128 bit ed è una stringa generalmente derivata dalla **chiave d'autenticazione**
- ✓ Il suo scopo è quello di codificare i dati trasmessi all'interno dei pacchetti e viene rigenerata ogni qualvolta venga attivato il meccanismo di cifratura

- ✓ Nato a metà degli anni 2000 nei laboratori Nokia col nome di **Bluetooth Lite**
- ✓ L'obiettivo era la creazione di una versione del BT **più semplice e leggera** più adatta ad applicazioni per le quali il BT classico era troppo complesso e/o richiedeva troppa energia
- ✓ Con altre compagnie Nokia ha sviluppato questa tecnologia col nome di **Wibree**
- ✓ Poi lo sviluppo è passato al SIG che lo ha chiamato inizialmente **ultra-low power Bluetooth** e successivamente **Bluetooth Low Energy** includendolo nella versione 4.0 del BT rilasciata nel 2010

- ✓ A livello commerciale è conosciuto come **Bluetooth Smart** e **Bluetooth Smart Ready**
- ✓ Esempi applicativi di BLE sono healthcare, fitness, home automation, smart metering, Internet of Things (IoT)
- ✓ I dispositivi **BT Smart Ready** sono dispositivi hub come computer, tablet e smartphone che supportano sia **BLE** che **BT** classico (dual-mode)

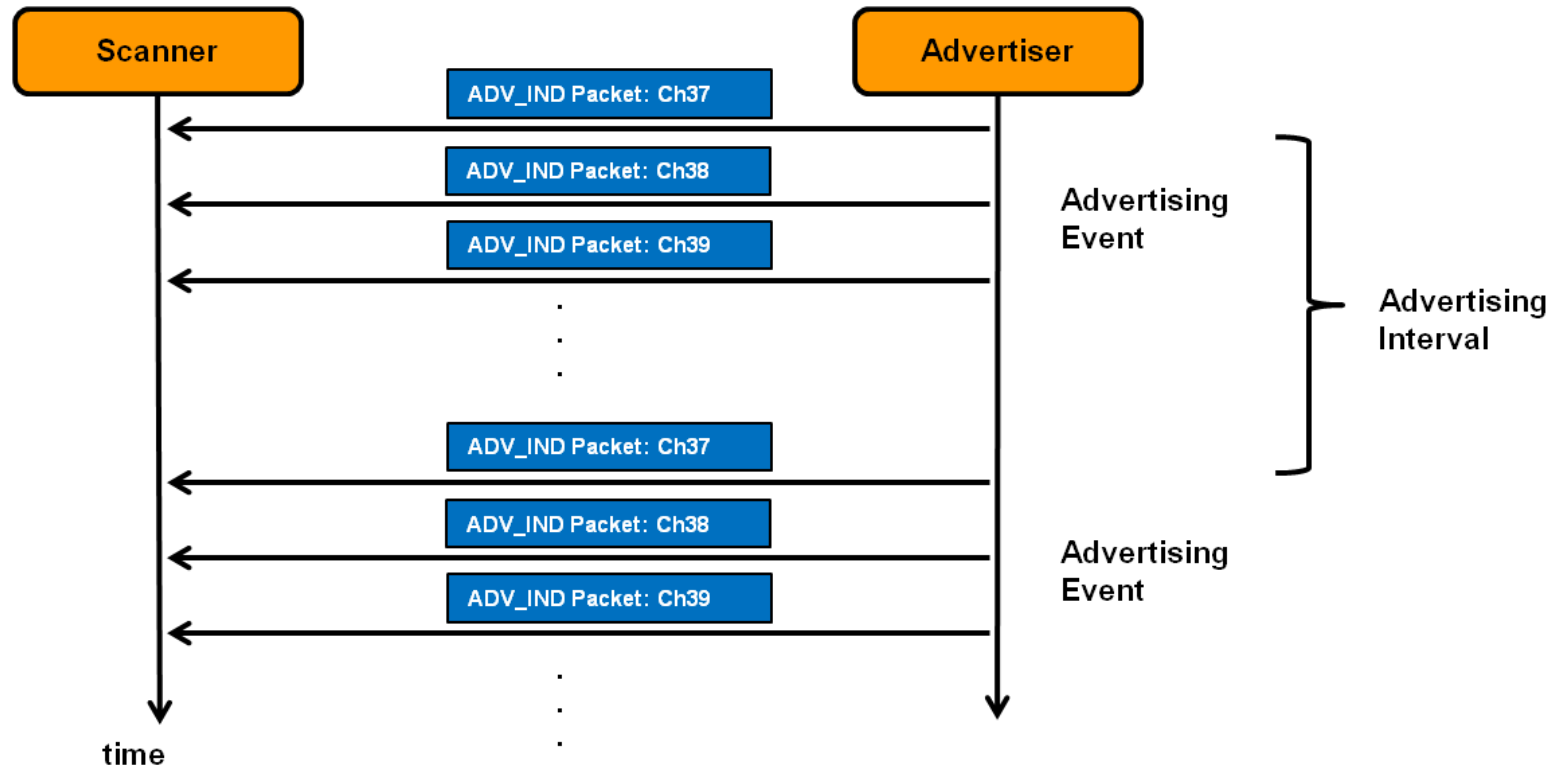
- ✓ I dispositivi **BT Smart** sono dispositivi a basso consumo d'energia che **supportano BLE**
- ✓ Possono comunicare **solo** con dispositivi BT Smart Ready
- ✓ **Non possono** comunicare con dispositivi BT classici (single-mode)



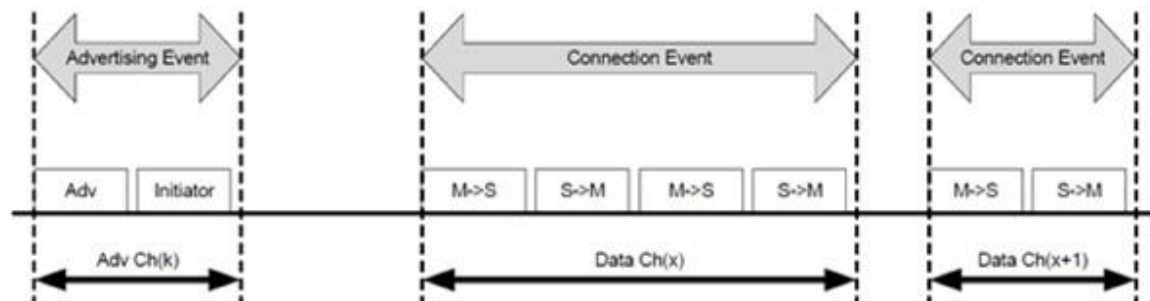
- ✓ I dispositivi BT Smart **beneficiano** delle caratteristiche a basso consumo di energia del BLE ma **non possono** comunicare con dispositivi BT classici
- ✓ I dispositivi BT Smart Ready invece **non beneficiano** delle caratteristiche a basso consumo di energia del BLE ma **possono** comunicare anche con i dispositivi BT classici
- ✓ Il BLE è stato progettato e ottimizzato per casi d'uso che hanno un **duty-cycle molto basso** che necessitano di trasmettere **pochi dati al secondo** (es. sensore di frequenza cardiaca, smart watch)
- ✓ Un'altra applicazione per i dispositivi BLE è la **Internet of Things** potendo funzionare da **sensori** con il supporto dei dispositivi BT Smart Ready che agirebbero da gateway per la Internet

BT classico	BLE
Massima distanza di trasmissione: 100 m	Massima distanza di trasmissione: 50 m
Frequency Hopping su 79 canali da 1 MHz ciascuno: richiede filtraggio RF più performante	Frequency Hopping su 37 canali da 2 MHz ciascuno: richiede filtraggio RF meno performante
Channel discovery su 32 canali: tempo di connessione dell'ordine dei s	Channel discovery su 3 canali: tempo di connessione dell'ordine dei ms
Velocità di trasferimento dati: da 0,7 a 2,1 Mbps	Velocità di trasferimento dati: da 0,27 Mbps
Consumo di energia dipendente dalle prestazioni richieste in base alle applicazioni utilizzate	Consumo di energia ridotto: invece di stare sempre connesso si sconnette e riconnette quando è necessario (grazie ai bassi tempi di connessione)
Minore durata della batteria	Maggiore durata della batteria

- ✓ Bluetooth LE impiega due schemi di accesso multiplo per la condivisione del canale di comunicazione: Frequency Division Multiple Access (FDMA) e Time Division Multiple Access (TDMA)
- ✓ 40 canali fisici separati da 2MHz sono utilizzati nell'FDMA di cui 3 canali di advertising e 37 canali di scambio dati
- ✓ Lo schema TDMA invece è determinato dall'invio di pacchetti tra dispositivi ad intervalli di tempo predefiniti
- ✓ Il canale fisico è suddiviso in unità di tempo chiamate eventi che si suddividono in due tipi: **Advertising Events** e **Connection Events**
- ✓ I dati sono trasmessi tramite pacchetti posizionati in questi eventi
- ✓ I dispositivi che trasmettono pacchetti di advertising nei canali fisici sono detti **advertisers** mentre quelli che ricevono questi pacchetti senza l'intenzione di aprire una connessione sono detti scanners



- ✓ L'Advertising Event termina nel momento in cui l'advertiser riceve ed accetta la richiesta di connessione
- ✓ Una volta che la connessione è stabilita si ha che nel seguente Connection Event l'initiator diventa il device master della piconet ed il device advertiser diventa uno slave
- ✓ I Connection Events sono utilizzati per l'invio di pacchetti tra il master e gli slave utilizzando il channel hopping all'inizio di ogni periodo di tempo
- ✓ Il master è colui che inizia e termina tutte le connessioni



- ✓ I Bluetooth beacons sono trasmettitori hardware (una classe dei BLE) che trasmettono in broadcast (indirizzo conosciuto da tutti i dispositivi) il loro identificatore ai dispositivi elettronici nelle vicinanze
- ✓ Quando un dispositivo mobile (smartphone, tablet) riceve questo identificatore viene abilitato a compiere una certa azione
- ✓ Tipicamente i BT Beacons vengono posti in punti di interesse specifici come negozi, fermate del bus, locali, con l'obiettivo di trasmettere delle informazioni di interesse alle persone che si trovano nelle vicinanze
- ✓ Le distanze sono genericamente distribuite in 3 settori, entro i 50 cm, tra i 50 cm e i 5 metri, e dai 5 metri in su
- ✓ Il range massimo dipende molto anche dall'architettura degli edifici in cui i Beacons vengono usati in quanto il segnale radio è disturbato dalla presenza di muri e barriere fisiche artificiali.

Versione	Caratteristiche
V 1.0 e 1.0B	<ul style="list-style-type: none">• Scarsa compatibilità con prodotti di marche diverse• Obbligo di trasmissione degli indirizzi dei dispositivi rendeva trasmissioni non anonime
V 1.1	<ul style="list-style-type: none">• Possibilità di trasmissione dati tra dispositivi di diverse marche• Introdotto il supporto ai canali non cifrati• Comunicazioni vengono cifrate (autenticazione necessaria)• Received Signal Strength Indicator (RSSI)
V 1.2	<ul style="list-style-type: none">• Adaptive Frequency Hopping (AFH), che fornisce una maggiore resistenza alle interferenze elettromagnetiche• Velocità di trasmissione dati fino a 721 kbps• Extended Synchronous Connections (eSCO), che fornisce una trasmissione audio ad alta qualità ritrasmettendo i pacchetti in caso di perdita dei dati• Host Controller Interface (HCI) permette di gestire fino a tre UART

Versione	Caratteristiche
V 2.0 + EDR	<ul style="list-style-type: none">Enhanced Data Rate (EDR) aumenta la velocità di trasmissione dati teorica a 3 Mbps (2.1 Mbps effettiva)
V 2.1 + EDR	<ul style="list-style-type: none">Extended Inquiry Response (EIR) fornisce maggiori informazioni durante la richiesta di accoppiamento tra dispositivi (nome dispositivo, servizi supportati, informazioni accoppiamento)Secure Simple Pairing (SSP) migliora l'accoppiamento tra dispositiviEncryption Pause Resume migliora la cifratura tra le connessioni
V 3.0 + HS (High-Speed)	<ul style="list-style-type: none">Sfrutta la connessione Wi-Fi per velocità di trasmissione dati fino a 24 Mbps (solo per file di grandi dimensioni)Migliore QoS: dati audio e video sono trasmessi con qualità superioreEnhanced Power Control migliora il controllo del consumo di potenza

Versione	Caratteristiche
V 4.0 + LE	<ul style="list-style-type: none"> • Include i protocolli Bluetooth, Bluetooth HS e Bluetooth Low Energy (BLE) • BLE è progettato per applicazioni a basso consumo di potenza • Trasferimento dati point-to-multipoint più affidabile con risparmio di potenza avanzato e connessioni cifrate più sicure
V 4.1 e 4.2	<ul style="list-style-type: none"> • Aggiornamenti software che aggiungono funzionalità per il supporto a Long Term Evolution (LTE) e Internet of Things (IoT)
V 5	<ul style="list-style-type: none"> • Raddoppia la velocità di trasmissione fino a 50 Mbps • Quadruplica la distanza di trasmissione • 8 volte la capacità di trasmissione in broadcasting rispetto a BLE • Aggiunge funzionalità per applicazioni IoT



Wireless Connectivity: Bluetooth® Modules



Ready-to-use Modules with *Bluetooth* Technology Built-In.

Manufactured to handle a broad range of technologies, Panasonic's *Bluetooth* modules can be designed into various types of electronic devices. Features include:

- High Data Rates
- Seamless Transition from *Bluetooth* Classic to *Bluetooth* Low Energy
- Reduced Power Consumption (as low as 5mA)
- Rapid Connection and Disconnection

Bluetooth® 4.0 Low Energy Single Mode Smart Sensors



Powered By:
nBlue™

Wireless SensorBug (pictured right)



[BR-BUTTON-S3A](#) (70KB) SensorBug™

- Contains BR-LE4.0-S3A BLE nBlue module
- 3-Axis accelerometer ($\pm 2, 4, 8, 16g$)
- 16-bit Light sensor 0-64000 LUX
- 13-bit Temp sensor $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ ($\pm 0.5^{\circ}C$)
- 12-bit ADC on PCB test point
- CR2032 3.0 volt lithium coin battery and holder on bottom
- Two push button control, and two status LEDs
- PCB is 1" diameter (25mm)
- Battery serviceable water resistant plastic case
- Remote RF configuration and programming.
- Free iOS 7 smart phone application:
<https://itunes.apple.com/us/app/bluesense/id629235174?mt=8>



